



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ ⑫ Offenlegungsschrift
⑯ ⑯ DE 199 51 732 A 1

⑯ Int. Cl.⁷:
B 01 D 53/22

⑯ ⑯ Aktenzeichen: 199 51 732.0
⑯ ⑯ Anmeldetag: 27. 10. 1999
⑯ ⑯ Offenlegungstag: 23. 5. 2001

DE 199 51 732 A 1

⑯ ⑯ Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑯ ⑯ Erfinder:
Diener, Joachim, Dipl.-Ing., 89081 Ulm, DE; Kübler,
Eberhard, Dipl.-Ing., 71272 Renningen, DE;
Schmidt, Matthias, Dr.-Ing., 06796 Brehna, DE

⑯ ⑯ Entgegenhaltungen:
DE 29 35 622 C2
DE 25 24 242 C2
DE 42 21 593 A1
EP 03 12 910 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Vorrichtung und Verfahren zur Konditionierung von Gas
⑯ Die Erfindung beinhaltet eine Anordnung und ein Verfahren zur Konditionierung von Gas, insbesondere Luft, mittels Membranmodulen zur Sauerstoffanreicherung. Das Herzstück der Einheit zur Sauerstoffanreicherung bilden Sauerstoffpermeationsmembranen, die bevorzugt eine Permeation von Sauerstoff unterstützen.

DE 199 51 732 A 1

DE 199 51 732 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 sowie auf ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 9.

5 Bei der Konditionierung von Innenräumen oder Beatmungsgeräten spielt der Luftsauerstoff in der Form O₂ eine wesentliche Rolle. Reine, trockene Luft besteht zu 20,1 Vol% aus Sauerstoff. Eine Herabsetzung des Sauerstoffgehaltes durch Veratmung bei Umluftbetrieb in abgeschlossenen Räumen, bei denen eine Frischluftzufuhr nicht oder nur unter technisch hohem Aufwand erfolgen kann, führt zu Ermüdungs- und Konzentrationsmängeln bei den Betroffenen.

Eine Sauerstoffanreicherung von Luft ist in der Schrift DE 43 00 988 C1 beschrieben. Sauerstoffreiche Luft wird herkömmlicherweise in Krankenhäusern und Notarztwagen bei Sauerstoffmangelzuständen zur Beatmung von Patienten benötigt. Das in der Druckschrift vorgeschlagene Verfahren wurde für solche Applikationen erprobt. Weiterhin wird eine Anwendung im Abgasstrom von Verbrennungsmotoren diskutiert, da die Stickoxidbildung durch die Stickstoffabfilterung aus der Verbrennungsluft verhindert wird.

Technisch besteht das Verfahren aus zwei Zeolithfestbettadsorbern, die im Druckwechselverfahren betrieben werden. 15 Jeweils einem der Adsorber wird Druckluft zugeführt; das Zeolithfestbett adsorbiert den Stickstoff, so daß sauerstoffanreicherte Luft den Adsorber verläßt. Der andere Adsorber, dessen Kammer geschlossen ist, wird durch Spülung des Festbettes mit Luft oder O₂ desorbiert, da sich mit zunehmender Betriebsdauer das Adsorptionsvermögen der Zeolith infolge wachsender Beladung verringert. Um eine zu kurze Taktzeit der Adsorption zu verhindern, wird der Adsorber an einem Schwingungserzeuger angeschlossen, der das Adsorptionsvermögen erhöht und den Desorptionsprozeß beschleunigt.

Das Verfahren eignet sich allerdings nur bedingt für den angestrebten Einsatz bei der Sauerstoffanreicherung, beispielsweise von Kabinenluft, da für eine ausreichende Sauerstoffanreicherung mehrere Zeolithadsorber notwendig wären, die wiederum Gewichts- und Platzprobleme verursachen würden. Der wesentliche Kritikpunkt ist in der alternierenden Betriebsweise des Verfahrens für die Regenerierung zu sehen, woraus ein erhöhter apparativer und regelungstechnischer Aufwand beim Einsatz folgt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung zur Konditionierung von gasförmigen Medien anzugeben, insbesondere die Sauerstoffanreicherung von Luft.

Die Erfindung wird in Bezug auf die Anordnung durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 und in Bezug auf das Verfahren durch die Merkmale des Patentanspruchs 9 wiedergegeben. Die weiteren Ansprüche enthalten vorteilhafte Aus- 30 und Weiterbildungen der Erfindung.

Die Erfindung beinhaltet die Konditionierung von sauerstoffhaltigen Gasen in ihren Bestandteilen. Die Konditionierung betrifft insbesondere die Sauerstoffanreicherung.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung beinhaltet mindestens ein Membranmodul zur Sauerstoffanreicherung mit Sauerstoffpermeationsmembranen, die so im Strom eines sauerstoffhaltigen Gases angeordnet ist, daß eine Weiterleitung allein des Permeats, also des Gasanteils, der durch die Membran hindurchtritt stattfindet.

Die verwendeten Membranen liegen bevorzugt in Hohlfaserform vor, aus denen sogenannte Hohlfasermodule aufgebaut sind. Dabei wird das Gas im inneren oder im äußeren Kompartiment der Hohlfasermembran geführt, wohingegen das Retentat, als zurückgehaltener Gasanteil, immer auf der entgegengesetzten Membranseite strömt.

Auf der Seite des Retentats ist eine Gasleitung zur Rückführung des an Sauerstoff verarmten Gases angebracht. Außerdem kann das Retentat anstatt über eine Rückführung auch aus dem System geführt und verworfen werden.

Es ist bei überhöhtem Sauerstoffgehalt auch angedacht, insbesondere bei Luft den sauerstoffreichen Teilstrom mit Außenluft zu mischen, um eine optimale Konditionierung der Luft zu gewährleisten.

Als Variante ist es aus Gründen kleiner Modulgrößen durchaus sinnvoll, mehrere, dezentrale Module zu verwenden, die auch eine Einstellung eines gezielt unterschiedlichen Sauerstoffgehalts ermöglicht.

45 Das Herzstück der Einheit zur Sauerstoffanreicherung bilden die Membranen. Sie sind symmetrisch oder asymmetrisch als Phaseninversionsmembranen oder als Kompositmembranen ausgebildet.

Das Verfahren zur Konditionierung von Gas in Innenräumen beinhaltet die Schritte, bei denen mindestens ein Teilstrom zur Sauerstoffanreicherung durch eine Membran hindurchgeführt wird und/oder im Feuchtegehalt mittels einer Befeuchtungseinheit angefeuchtet oder einer Kondensationseinheit getrocknet wird. Der Hauptgasstrom wird über einen Kompressor verdichtet und über Filter gereinigt. Der Volumenstrom der Teilströme wird mittels eines Regelkreises aus Ventilen, Sauerstoffsensoren und Steuereinheiten geregelt.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung besteht in der Gewichts- und Platzeinsparung durch den Einsatz von Membranmodulen. Diese Systeme eignen sich dadurch besonders für einen Einsatz in der Luft- und Raumfahrttechnik, aber auch zum Einsatz in U-Booten oder in Verbrennungsräumen und deren Abgase.

55 Ebenso liegt ein Vorteil in der Regelung und insbesondere in der Erhöhung der Sauerstoffkonzentration durch das Membrantrennverfahren der Gaspermeation.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von vorteilhaften Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf schematische Zeichnungen in den Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Verfahrensprinzip der Sauerstoffanreicherung über eine Aufteilung eines Gasstromes,

60 **Fig. 2** Verfahrensprinzip der Sauerstoffanreicherung mit getrennter Gaszufuhr.

In einem ersten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** wird das Verfahrensprinzip zur Konditionierung von Kabinenluft vorgestellt. Ein Kompressor 1 zieht Luft mit dem Druck p1 aus der Umgebung an. Dieser Außenluftstrom 10 wird auf einen höheren Druck P2 komprimiert. Im Anschluß werden aus dem komprimierten Luftstrom 11 grobe Verunreinigungen, beispielsweise Stäube, separiert. Dies kann exemplarisch mittels eines gewöhnlichen Filters 2 realisiert werden. Ebenfalls ist eine Abtrennung fester Verunreinigungen durch Zykone vorteilhaft.

Der gereinigte Luftstrom 12, der aus der Vorseparationseinheit austritt, wird in zwei Teilströme 13 und 14 getrennt. Der erste Teilstrom 13 wird in ein Membranmodul zur Sauerstoffanreicherung 3 geleitet. In diesem Modul befinden sich die Membranen, die eine bevorzugte Permeation des Sauerstoffs unterstützen. Derartige Membranen sind in der Regel

DE 199 51 732 A 1

Kompositmembranen, deren trennaktive Schicht aus Polymeren besteht, beispielsweise aus Silikonen (Polydimethylsiloxan (PDMS) etc.), Polyphenylenoxid, Ethylcellulose oder Polymethylpenten. Diese Polymere haben die Eigenschaft, daß sie Sauerstoff im Vergleich zum Stickstoff einen geringeren Transportwiderstand entgegengesetzt, was mit einem Lösungs-Diffusionsmodell beschrieben werden kann. Ursächlich für dieses Trennprinzip ist eine Porenfreiheit der Trennschichtmatrix.

Der durch die Membran hindurchtretende Gasstrom des Permeats **17** ist unterschiedlich stark in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Membran, deren Fläche und von den Prozeßbedingungen (vor allem Druckdifferenzen) mit Sauerstoff angereichert. Der Gasstrom des zurückgehaltenen Retentats **15** ist durch eine Abreicherung an Sauerstoff charakterisiert. Dieser Gasstrom des Retentats **15** wird in den ersten Teilstrom **13** zurückgeführt und erneut über das Membranmodul **3** geleitet oder über eine Abgasleitung **16** abgeführt und verworfen. Diese Rückführung, die nicht zwingend notwendig ist, dient einer Verbesserung der Ausbeute an Sauerstoff. Als Module sind vor allem Hohlfaser- und Wickelmodule aber auch sämtliche weitere Membranmodule (z. B. Flachmembranmodule in Kissen- und Taschenform) geeignet.

Der zweite Teilstrom **14** wird nicht über das Membranmodul **3** geleitet, so daß die Luft dieses Volumenstroms nicht behandelt wird.

Der mit Sauerstoff angereicherte Gasstrom des Permeats **17** wird mit dem nichtbehandelten zweiten Teilstrom **14** wiederum vereinigt und als Gesamtstrom **18** weitergeleitet. Die Steuerung des Durchsatzes im jeweiligen Teilstrom kann über ein Steuerventil **4** in Verbindung mit Sauerstoffsensor (z. B. paramagnetischer Sauerstoffanalysatoren) und Steuereinheiten erfolgen.

In einem zweiten Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** wird das Verfahrensprinzip zur Konditionierung von Kabine luft mit getrennter Gaszufuhr vorgestellt. Zwei Kompressoren **1** ziehen Luft mit dem Druck **P1** aus der Umgebung an. Dieser Außenluftstrom wird auf höhere Drücke **P2** und **P3** komprimiert. Im Anschluß werden aus dem komprimierten Luftstrom wiederum mittels Filter **2** grobe Verunreinigungen separiert. Der gereinigte Luftstrom besteht wiederum aus zwei Teilströmen **13** und **14** und wird, wie im ersten Ausführungsbeispiel beschrieben, weiterbehandelt. Üblicherweise ist der Druck **P2** des Luftanteils, der durch das Membranmodul **3** geführt wird, aufgrund des höheren Widerstandes der Membran höher als der Druck **P3**.

Zur umfassenden Konditionierung von Gasen wird das Verfahren der Sauerstoffanreicherung mit einer anschließenden Gasbefeuuchtung oder Trocknung kombiniert. Hierzu wird mindestens ein Gasstrom zur Sauerstoffanreicherung in einem Membranmodul durch eine Sauerstoffpermeationsmembran hindurchgeführt und im Feuchtegehalt mittels einer Befeuchtungseinheit angefeuchtet oder einer Kondensationseinheit getrocknet. Der jeweilige Gasfluß wird mittels eines Regelkreises aus Ventilen, Sensoren und Steuereinheiten geregelt.

Zur Sauerstoffanreicherung wurden beispielsweise Flachmembranen zur Trennung der Luft in ihre Hauptbestandteile Sauerstoff und Stickstoff untersucht. Hierbei wurden die Permeabilitäten **L** der Gaskomponenten Sauerstoff und Stickstoff gemessen. Aus dem Quotienten dieser beiden Permeabilitäten resultiert die Selektivität der Membran, die Aussagen zum Trennverhalten erlaubt.

Als Membranen wurden Kompositmembranen eingesetzt, deren trennaktive Schicht aus dem Polymer Polydimethylsiloxan besteht. Die Angabe in μm entspricht der Schichtdicke dieses Polymers, das auf unterschiedlichen asymmetrischen Trägermembranen abgeschieden wurde.

Die nachfolgende Tabelle enthält exemplarisch die meßtechnisch gewonnenen Ergebnisse des Permeationsverhaltens der verwendeten Membran:

Membran	$L(N_2)$ [$\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$]	$L(O_2)$ [$\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$]	$\alpha = L(O_2)/L(N_2)$
1,5 μm PDMS	139	306	2,2
1,5 μm PDMS	153	339	2,2
10 μm PDMS	116	233	2,0
10 μm PDMS	90	196	2,2
1,5 μm PDMS	793	1600	2,1
10 μm PDMS	746	1631	2,2

Die Werte zeigen für alle untersuchten Membranen eine stärkere Permeation des Sauerstoffs im Vergleich zum Stickstoff. Somit wurde der Sauerstoff bevorzugt im Permeat angereichert, der Stickstoff verblieb bevorzugt im Retentat.

Ein Hohlfasergastrennmodul mit Silikonkompositmembranen wurde dahingehend ausgelegt, daß eine Anreicherung der Luft mit Sauerstoff im Permeat auf 30 Vol% erreicht werden konnte.

Patentansprüche

- Vorrichtung zur Konditionierung von Gasen, gekennzeichnet durch mindestens ein Membranmodul zur Sauerstoffanreicherung (**3**) mit Sauerstoffpermeationsmembranen zur Durchführung eines sauerstoffhaltigen Gases und Weiterleitung allein des Permeats (**17**).

DE 199 51 732 A 1

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranmodul (3) als Hohlfasertrennmodul ausgebildet ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Sauerstoffpermeationsmembran symmetrisch oder asymmetrisch als Phaseninversionsmembran oder als Kompositmembran ausgebildet ist.
- 5 4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Seite des Retentats eine Gasleitung (15) zur Gasrückführung angebracht ist.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß dem Membranmodul (3) zur Sauerstoffanreicherung mindestens ein Kompressor (1) vorgeschaltet ist.
- 10 6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß dem Membranmodul (3) zur Sauerstoffanreicherung mindestens ein Filter (2) vorgeschaltet ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Regelkreis aus Ventilen (4), Sensoren und Steuereinheiten den Gasstrom steuert.
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Gas Luft ist.
9. Verfahren zur Konditionierung von Gas, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Gasstrom zur Sauerstoff-15 anreicherung in einem Membranmodul durch Sauerstoffpermeationsmembranen hindurchgeführt und gemischt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Feuchtegehalt mittels einer Befeuchtungseinheit angefeuchtet oder einer Kondensationseinheit getrocknet wird.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß mittels eines Regelkreises aus Ventilen (4), Sensoren und Steuereinheiten geregelt wird.
- 20 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Hauptgasstrom vor Eintritt in das Membranmodul über einen Kompressor (1) verdichtet und/oder mit einem Filter (2) gereinigt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

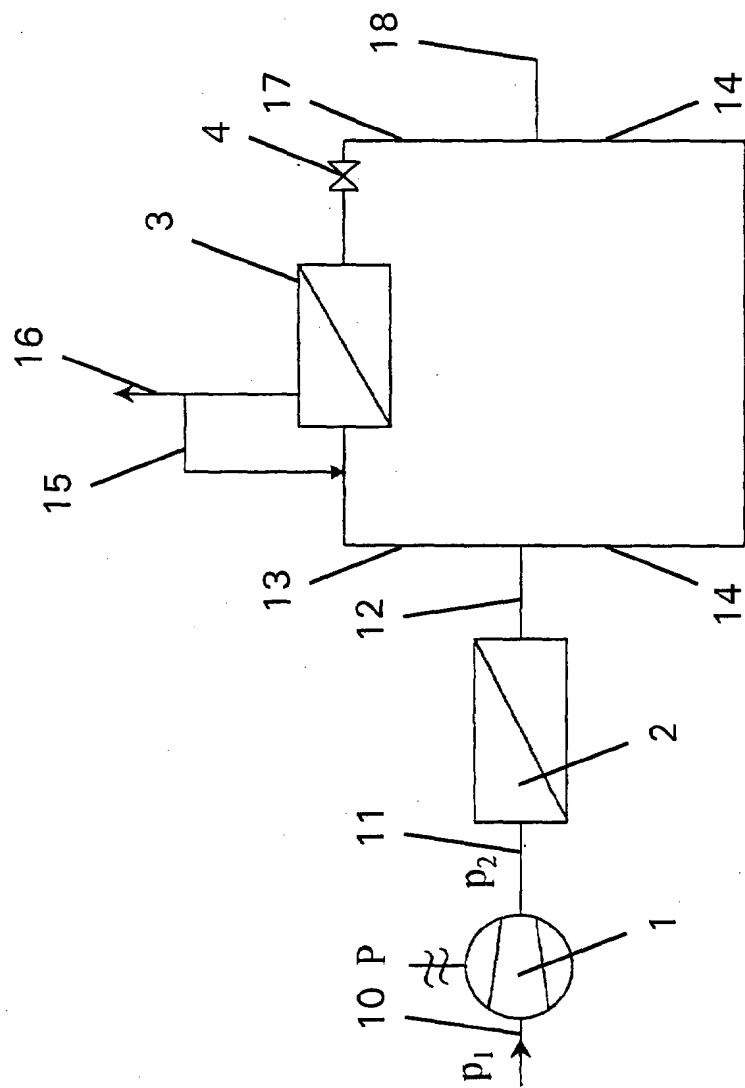
45

50

55

60

65



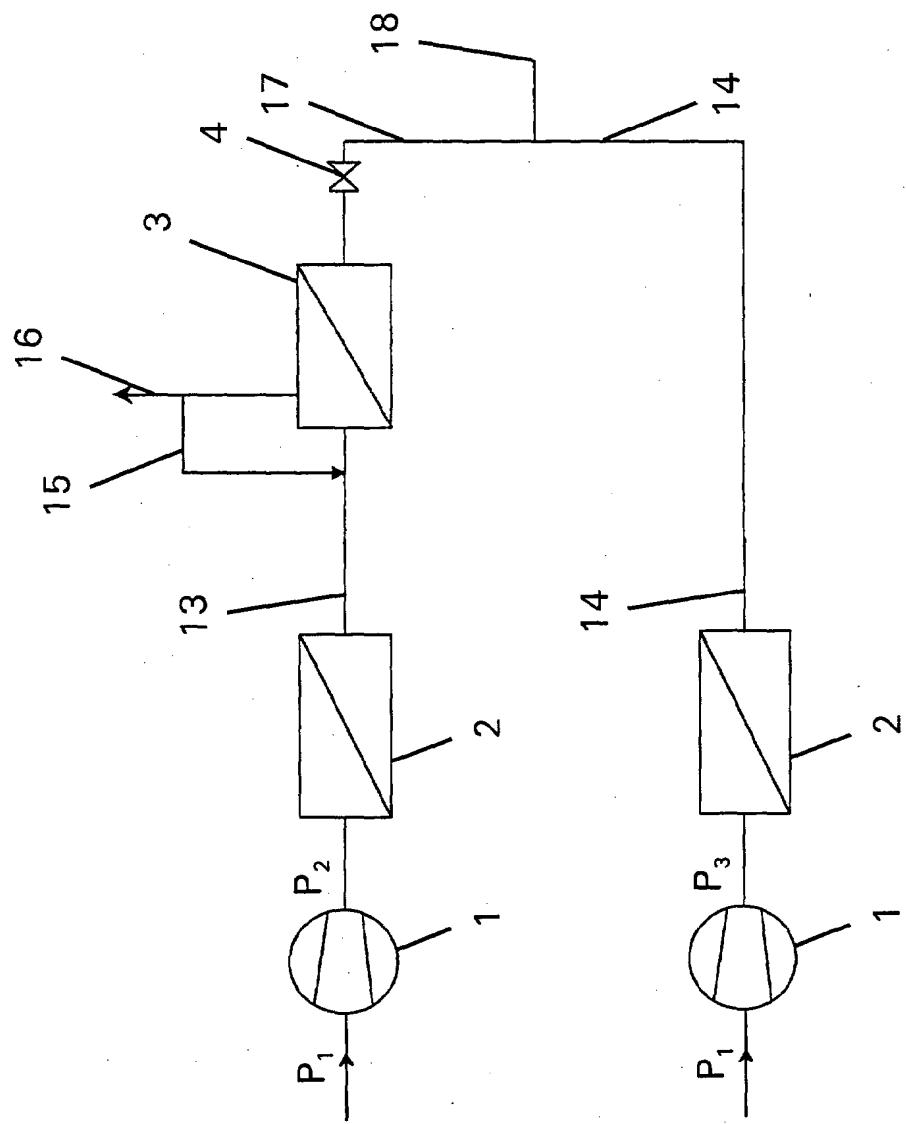


FIG.2